

Basic Robot Design

WITH NASTRAN

2021741062 로봇학부 김현준

1. 프로젝트 모델
2. 프로젝트 모델링
3. 로봇 재료 선정
4. Nastran 해석 과정
5. 해석 결과 및 보완점
6. 느낀 점

프로젝트 모델 소개

프로젝트 모델의 경우, 현대자동차가 인수하여 많은 관심을 받았던 Boston Dynamics 사의 4족 보행 로봇인 SPOT을 보고 제작함.



그림 1. Boston Dynamics logo



그림 2. SPOT 소개 사진

프로젝트 모델링 소개

프로그램은 AUTODESK 사의 INVENTOR 2023을 사용함 .

로봇은 몸통 부분과 다리 부분을 따로 모델링 하였으며, 다리 부분의 경우에는 세부 부품들을 만들어 총 5개의 부품으로 구성함.

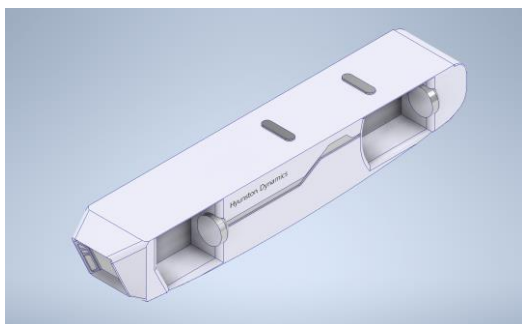


그림 3 몸통부분

로봇의 몸체의 경우 Boston Dynamics가 제공하는 일부 사진을 보고 최대한 비슷하게 만들 고자 하였음.



그림 4 다리부분

다리 부분의 경우,

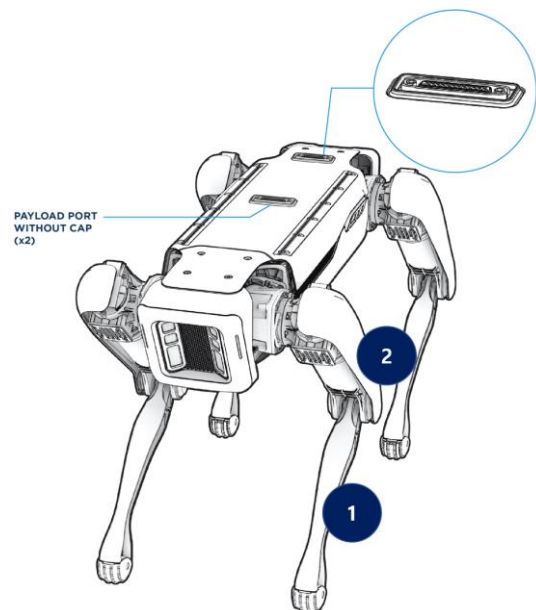


그림 5 SPOT 옆모습 사진

공식홈페이지에 나와있는 SPOT의 사진을 보고 구조를 본 후 2개의 모터를 이용하여 본체와 결합하고자 하였으며, 유튜브에 업로드 된 SPOT의 주행 영상을 참고하여 다리가 작동하는 방식을 생각함. 2번 부품과 1번 부품이 축 하나로 서로 이어져 있으며, 이 축이 2번 부품 안쪽에서 움직이며 1번 부품과 2번 부품의 각

도를 조절함. 각도를 조절함으로써 로봇의 높이를 조절할 수 있음.

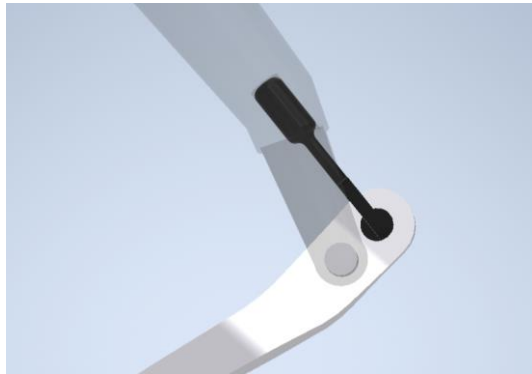


그림 6 1번 2번 사이의 부품 실린더

중간에 실린더 형태의 부속을 추가적으로 만들어 실린더의 움직임에 따라 각도가 조절될 수 있도록 만들었음.

하지만 실린더 부분이 움직인다고 하여도 직선 형태로 움직이지는 않기에 본 모델링에서 실린더가 움직임에 따라 1번 부품이 움직이는 것은 구현하지 못하였음.

SPOT에는 로봇의 커버도 만들어져 있지만, NASTRAN 해석을 해야 하기 때문에 불필요한 부분이라고 생각하여 만들지 않았음.

로봇 재료 선정

로봇에 사용하는 재료는 금속재료, 비금속 재료, 신 재료 중 금속재료를 주로 사용하며, 금속재료는 다시 비철금속 재료와 철강 재료로 나뉘게 됨.

비철금속 재료들 중 알루미늄과 티타늄을 주로 사용하며, 카본과 같은 소재도 로봇에 많이 사용되고 있음.

티타늄은 다른 금속들에 비해 무게와 강도에서 이점을 보임. 티타늄의 무게는 다른 금속들에 비해 가벼우며, 비강도 (재료의 강도를 비중으

로 나눈 값) 도 또한 굉장히 높은 편임. 합금으로 사용할 경우에 더 좋아지며, 높은 강도, 강성, 인성, 좋은 내식성을 가지고 있음. 티타늄 합금은 철강과 비슷한 인장강도를 가지고 있음.

4개의 다리가 하나의 본체를 지지하고 있으며, 본체는 최대한 가볍고 튼튼해야 한다고 생각하였기에, 본체는 티타늄을 활용할 계획임.

다리부분은 알루미늄을 활용하여 제작하고자 함. 로봇의 모든 부분을 티타늄 합금으로 제작하기에는 가격적인 요소에서 부담이 되기 때문에, 가벼운 티타늄 합금으로 이루어진 본체를 알루미늄 합금을 활용한 4개의 다리로 지지하고자 함. 마그네슘 합금 또한 좋은 재료이지만, 강도 및 인성이 알루미늄 합금에 비해 낮기 때문에 알루미늄 합금을 사용하고자 함.

다리 부분의 발 부분은 고무 재질을 활용하여 로봇이 움직일 때 미끄러지지 않도록 하고자 함.

Nastran 해석과정

INVENTOR에서 제공하는 NASTRAN을 활용해서 유한 요소 해석을 진행하고자 함.



그림 7 INVENTOR NASTRAN

해석 과정은 몸통 부분과 다리 부분을 따로 해석한 다음, 다리 부분의 무게 하중을 몸통 부분에 가해 몸통 부분이 다리의 무게를 잘 지탱할 수 있는지 판단하고자 함.

다리 부분의 경우에도 부품이 다 연결된 상태를 바로 해석하는 것이 아닌 일부 요소들로 나누어 해석을 진행하고자 함.

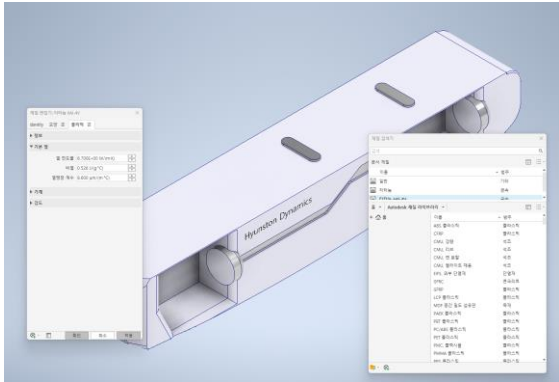


그림 8 인벤터를 활용한 재질 검색

INVENTOR을 활용해서 재료 검색을 해본 결과, 티타늄과 티타늄 6Al - 4V 로 두개의 재질이 있었음. 검색결과 티타늄 6Al - 4V는 티타늄 합금으로 자전거의 프레임 제작에 사용된다고 함. 비슷한 맥락으로 사용될 수 있기에 본체는 티타늄 6Al - 4V로 설정하였음

알루미늄의 경우 1000년대부터 7000년대의 다양한 종류가 존재하며, 1000년대는 순수 알루미늄, 2000년대는 Al-Cu 합금, 3000년대는 Al-Mn 합금, 4000년대는 Al-Si 합금, 5000년대는 Al-Mg 합금, 6000년대는 Al-Si-Mg 합금, 7000년대는 Al-Zn-Mg 합금임. 7000년대 알루미늄이 제일 높은 강도를 가지고 있으며 보편적으로 활용되는 금속보다 훨씬 높은 강도를 보이고 있음. 본체를 제외한 다리 부품의 경우에는 알루미늄 7000년대인 알루미늄 Al 7075로 설정하였음.

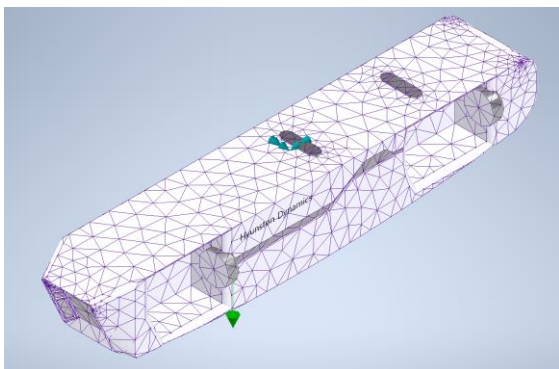


그림 9 NASTRAN 해석

로봇의 구조가 좌우 대칭을 이루고 있기 때문에 로봇의 좌측을 활용해서 해석을 해보고자 함.

그림 9와 같이 모터를 결합하지 않고, 모터 결합 부분에만 하중을 가했을 때는 결합 부분이 온전한 모습을 보이지 못하였으며, 잘못 하중을 가했다는 것을 알 수 있었음. 본체 부분은 추후에 프레임 부분을 새로 만들어서 프레임에 대한 응력 해석을 추가적으로 진행해보고자 함

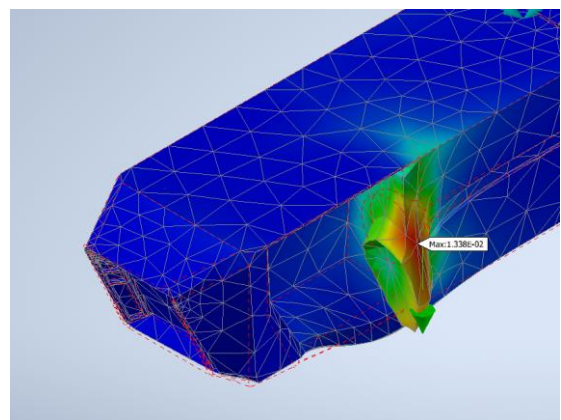


그림 10 본체 기본 해석

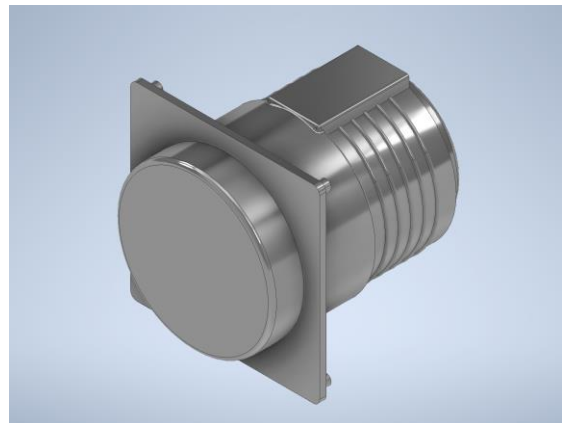


그림 11 모터 1

기존 모델링의 경우, 다른 부품과의 결합을 핀으로 하지 않고, 그림 11과 같이 끝 부분을 압수를 이루어 맞물리게 조립을 하는 방식으로 모델링을 하였는데 이 방식은 NASTRAN 해석 과정에는 적합하지 않았음.

NASTRAN 해석을 하기 위해서는 NASTRAN이 제공하는 커넥터 기능을 활용하여 달아 있는 부품 사이의 결합을 볼트나 캡 나사로 할 필요가 있었음.

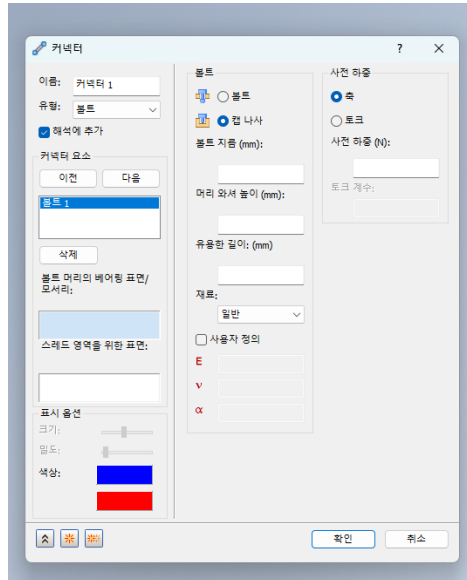


그림 12 커넥터 기능

볼트와 캡 나사의 경우, 너트의 유무에 따라 그 기능이 달라지는데, 본 로봇의 경우 모터와 모터 사이를 볼트와 너트로 고정할 수는 없었기에, 스크류 형태로 조립이 가능한 캡 나사를 활용하여 해석을 진행하고자 하였음.

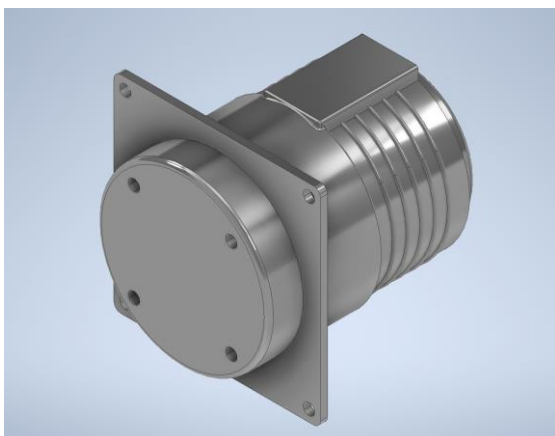


그림 13 수정한 모터 1

다른 모터들도 수정하였으며, NASTRAN을 활용하여 캡나사를 결합부에 만들었음.

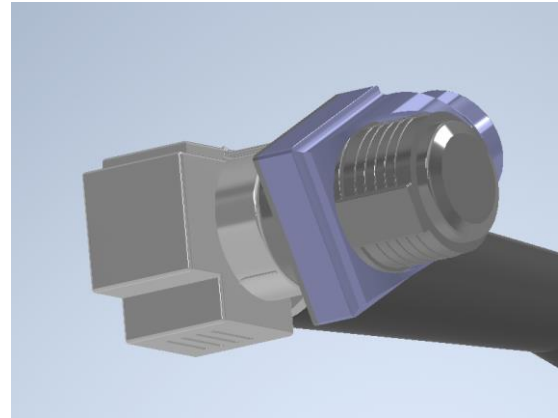


그림 14 기존의 결합부분

기존의 결합부분의 경우 모터 1 과 모터 2(보라색 부분)이 1차적으로 결합되어 있고, 모터 3(은색 부분) 결합되어 있는 형태였음.

하지만 모터 3의 형태가 일정한 형태가 아니기에 NASTRAN을 활용하여 적절한 하중을 가할 수 없었음. 이에 모터 3의 부분을 단순화시켜 모터 1,2의 결합부가 다리의 하중을 잘 견뎌낼 수 있는지 알아보고자 함.

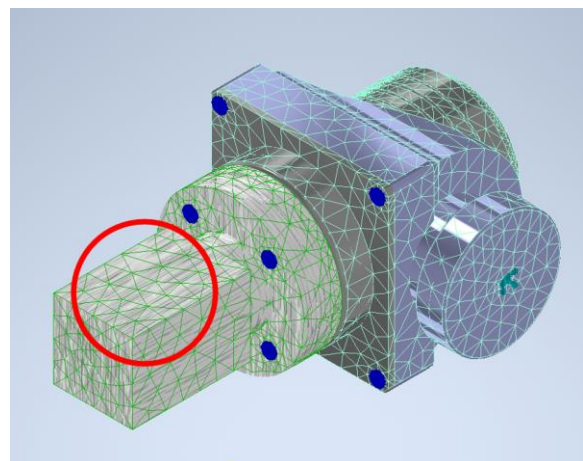


그림 15 단순화된 결합부분

캡나사를 활용하여 결합부분을 고정할 수 있었음. 그림 14의 기존의 다리 전체를 구조 해석에 사용하려 했으나, 그림 16의 하중 설정창을 살펴보면, 곡면 부분에는 하중을 가할 수 없었음. 그렇기에 모터 1,2 부분의 분석 부분을 위해 단순화된 결합 부분에 다리의 전체 무게를

하중으로 설정하고자 함.

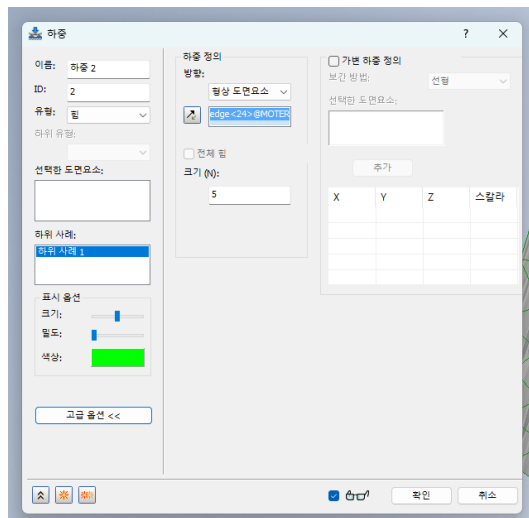


그림 16 하중 설정 창

해석결과 및 보완점

모터 1 모터 2 결합부분(로봇의 어깨)

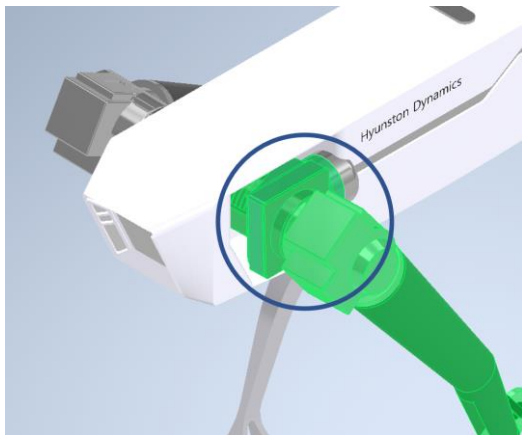


그림 17 해석부분

모터 3번을 다음과 같이 간단하게 바꾼 후 하중을 설정할 수 있게 구성하였음. 하중으로는 다리 전체의 무게를 설정하였음. 위에서 설정한 알루미늄 7075를 사용하였으며, 측정결과 3~4 kg 정도가 측정되었음. 30N을 하중으로 설정한 후 계산을 한 결과는 다음과 같음

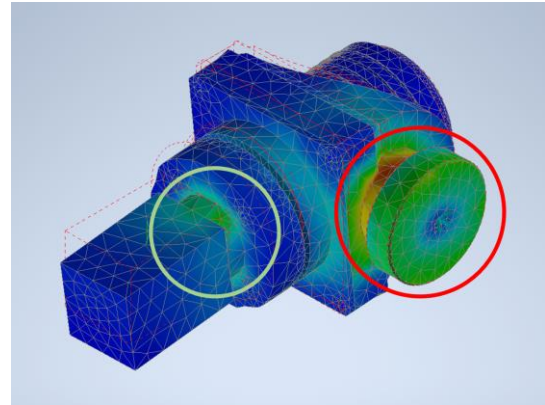


그림 18 해석결과

빨간색 원 부분은 본체와 고정되어야 하는 부분이었기 때문에 구속조건을 활용하여 고정하였으며, 왼쪽의 모터 3 부분에 30N의 하중을 가했음. 한도치인 빨간색은 많이 보이지 않았지만, 본체와 결합하는 부분과, 모터1,2와 팔 부분이 결합될 때, 스트레스를 많이 받는다는 사실을 알 수 있음.

로봇의 다리 부분



그림 19 다리 부분

다리 부분 또한 하중을 받을 때 변형이나 파손이 있는지 확인해야하는 부분이기 때문에 다른 부품과 결합되는 부분은 고정을 한 후에 분석을 진행하였음

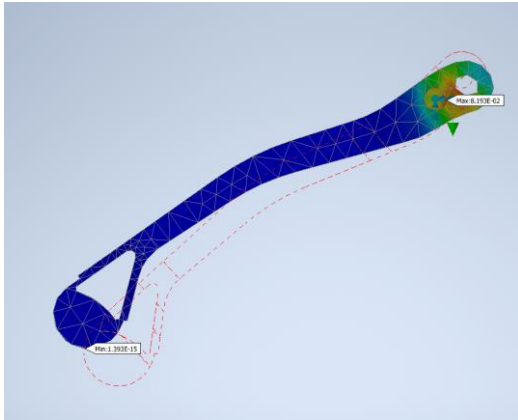


그림 20 해석 결과

해석 결과 실린더와 연결되어 있는 이음새 부분이 하중에 취약한 것으로 분석되었음. 이 부분에 있어서는 설계가 다시 필요하다고 판단되었음.

로봇의 어깨 부분과 본체 부분

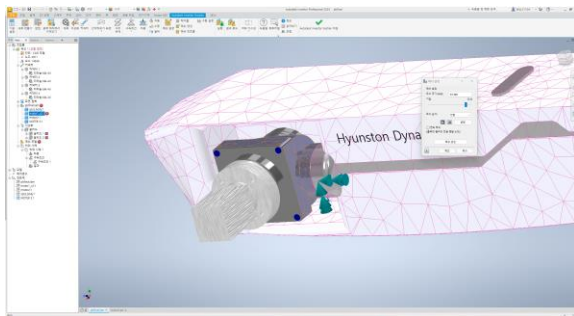


그림 21 메쉬 오류

메쉬가 실패했다는 오류문이 계속 발생하여, 원인을 찾고자 모터의 일부분만 본체에 연결해 보거나 결합방식을 다르게 해보았으나, 본체 부분에 연결할 시, 메쉬 생성 오류가 지속적으로 발생함. 본체 부분의 오류라고 생각하여 본체 부분만 추가적으로 메쉬 설정을 해보았으나 문제없이 메쉬가 설정되었음. 메쉬 생성 오류는 체적/표면/모서리 부분 중 메쉬할 수 없는 부분이 있기 때문이라고 하는데, 위에서 사용한 모델을 본체에 조립하였을 때 생긴 오류기에 정확한 원인을 파악하지 못함.

느낀 점

INVENTOR 사용법도 미숙하지만, NASTRAN 또한 원하는 대로 해석을 할 수 없었던 점이 아쉬움. NASTRAN에 대한 공부를 더 한 후 지금 만들었던 모델을 더 발전시키고 싶음.

현재 모델링 된 로봇의 경우 안쪽 부분이 비어있지 않고 꼭 차 있게 설계가 되었는데, 이 부분의 경우 실제 모터와는 다르기에 그에 따른 오차가 있었을 것이라고 생각함.

로봇이 대체적으로 곡면이 많았기에, 하중을 원하는 곳에 줄 수 없다는 부분이 굉장히 아쉬웠음. 분석을 위해 부품의 일부를 간소하게 대체하여 사용했으나 만약 곡면 부분도 하중을 줄 수 있다면 로봇의 전체 부분을 활용해서 응력 계산을 할 수 있었을 것이라고 생각함.

그동안 INVENTOR는 FUSION 360과 더불어 필요한 부품이나 작은 모형을 만들 때나 쓰는 모델링 프로그램이라고 생각하였는데, 이번 수업을 통해 훨씬 고차원 적인 프로그램이었다는 것을 알 수 있었음.

참고문헌

<https://url.kr/pu8r4m> - 알루미늄의 종류

https://dev.bostondynamics.com/docs/payload/payload_configuration_requirements - SPOT 사진